



Masseeksperiment 2009

Indeklima i klasselokaler

Andersen, Birgitte; Clausen, Geo; Larsen, E. M.; Menå, H. R.

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

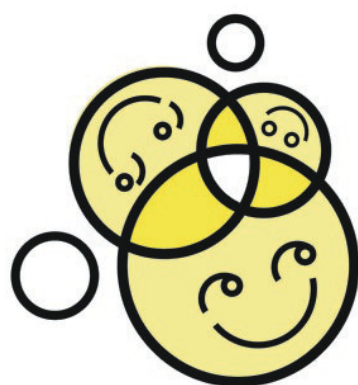
Citation (APA):
Andersen, B., Clausen, G., Larsen, E. M., & Menå, H. R. (2009). *Masseeksperiment 2009: Indeklima i klasselokaler*.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



MASSEEKSPERIMENT

INDEKLIMA I KLASSELOKALER

09

Elever undersøger indeklima i klasselokaler - rapport om resultater fra Masseeksperiment 2009



DANSK NATURVIDENSKABSFESTIVAL 2009



Denne rapport er udarbejdet af Danmarks Tekniske Universitet ved:

Birgitte Andersen

&

Geo Clausen, Eva Maria Larsen og
Henriette Ryssing Menå

DTU Systembiologi
Institut for Systembiologi

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

Forord

Dette års Masseeksperiment under DANSK NATURVIDENSKABSFESTIVAL 2009 er blevet udviklet og gennemført i et samarbejde mellem Dansk Naturvidenskabsformidling og DTU Byg samt DTU Systembiologi på Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Rigtig mange mennesker har været involveret i eksperimentet lige fra udvikling af forsøg og lærervejledninger, fremstilling af seks tusinde petriskåle med steril agar og til udarbejdelse af denne rapport.

Først og fremmest vil jeg gerne sige en stor tak til de mange elever og lærere, som har gennemført eksperimentet ude i klassen og indberettet deres resultater på eksperimentets hjemmeside. Det er elevernes data, der ligger til grund for den viden, som bliver formidlet i rapporten her.

En rigtig stor tak skal også lyde til forfatterne af denne rapport. Lektor Birgitte Andersen og lektor Geo Clausen, som har stået for at udvikle forsøgene og været ansvarlige for analysen af de mange data. Eva Maria Larsen og Henriette Ryssing Menå, begge specialestuderende ved DTU Byg, skal have en stor tak for deres omfattende og grundige arbejde med at analysere data og skrive denne rapport.

Netværk for Miljølære ved Universitetet i Bergen, Norge får en stor tak for at stille websystem til registrering af data til rådighed. En særlig tak skal lyde til Brage Førland og Ole Edvard Grov for deres gode finjusteringer af systemet

Og tak til ...

Laboranterne på DTU systembiologi for specialfremstilling af de mange petriskåle til forsøget.

Helle Houkjær Hansen og Mari-Ann Skovlund Jensen for udvikling af lærervejledninger og supplerende aktivitetsforslag.

Charlotte Welin for kontakten til forskerne.

Dafolo for pakning og udsendelse af forsøgskit.

Nicolai Nystrømer, Lukas Alexander Mortensen og Caroline Mejer Knudsen for filmen om forskerne bag eksperimentet.

Mikrolab Aarhus A/S for sponsorrabat på CO₂-måleudstyr.

Forskningsdagene i Norge og Forskarfredag i Sverige for samarbejde om gennemførelse af eksperimentet i alle tre lande.

VILLUM KANN RASRUSSER FONDEN, der finansierer Lektor Birgitte Andersens forskning i skimmelsvampe i bygninger.

Masseeksperiment 2009 er støttet økonomisk af Nordforsk, Danmarks Lærerforening og Gymnasieskolernes Lærerforening, som alle får tak.

Pernille Vils Axelsen

Pernille Vils Axelsen, Dansk Naturvidenskabsformidling

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	1
2. Baggrund	3
3. Forsøgsdesign	5
3.1. Del 1: CO ₂ - og temperaturmåling	5
3.2. Del 2: Kortlægning af skimmelsvampe	5
4. Deltagere	6
5. Resultater	8
5.1. Del 1: CO ₂ - og temperaturmåling	8
5.2. Del 2: Kortlægning af skimmelsvampe	16
6. Diskussion og konklusion (sammenfatning)	24

1. Introduktion

Masseeksperiment 2009 blev gennemført i uge 38-40 på skoler og gymnasier i hele Danmark som en del af DANSK NATURVIDENSKABSFESTIVAL 2009. Masseeksperimentet er en fast aktivitet under festivalen, som løber af stabelen hvert år i uge 39. I 2007 gik elever på jagt efter bakterier i drikkevandet, og i 2008 testede eleverne deres egen smagssans.

I dette års Masseeksperiment har eleverne undersøgt indeklimaet i klasselokaler på skoler og gymnasier overalt i Danmark. Eleverne har fået syn for sagen, når de har kunnet aflæse luftens mængde af CO₂ på særlige målerør og har nærstuderet skimmelsvampe, som er vokset frem på petriskåle, efter at de har været eksponeret til luften i klasselokalet.

Formålet med Masseeksperimentet er to-delt. For det første understøtter eksperimentet undervisning, som tager afsæt i elevernes hverdag og den nære omverden. Helt konkret understøtter eksperimentet emner som sundhed, mikrobiologi og indeklima med særlig fokus på CO₂, temperatur og skimmelsvampe.

For det andet er resultaterne fra de mange klasser med til at give forskerne ny og vigtig viden om indeklima på skoler i Danmark. Samtidig virker det engagerende for eleverne, at resultaterne skal bruges af forskerne.

I alt 1.000 skole- og gymnasieklasser fra hele landet og fra alle klassetrin fordelt på 340 grundskoler og 44 gymnasier var tilmeldt årets eksperiment og fik tilsendt et forsøgskit. Heraf har ca. 80% indberettet deres resultater på masseeksperimentets hjemmeside. De tilmeldte lærere fra haft en brugerkonto på siden med login, hvilket har sikret, at kun disse lærere har kunnet indberette resultater. Via www.naturvidenskabsfestival.dk er der adgang til at se den enkelte skoles resultater samt deltagernes billeder af skimmelsvampe. De deltagende klasser har således mulighed for at sammenligne egne resultater med andres.

I Norge og Sverige har skole- og gymnasieklasser ligeledes gennemført eksperimentet.

I denne rapport præsenterer og diskuterer forskere fra Danmarks Tekniske Universitet elevernes resultater. Rapporten henvender sig til alle med faglig interesse i eksperimentet. Vi mener, det er vigtigt, at resultaterne præsenteres hurtigt efter målingernes afslutning, hvilket for denne rapport betød, at deadline for redaktionen var blot to dage efter de sidste data var indkommet. Men bearbejdningen slutter ikke her. Forskerne arbejder videre og forventer at kunne præsentere resultaterne af de egentlige videnskabelige analyser på www.naturvidenskabsfestival.dk i løbet af nogle måneder.

Der er udarbejdet en kortere elevrapport, hvori der er taget særlig hensyn til at den lettere skal kunne læses af elever i grundskolens ældste klasser og gymnasiet. Elevrapporten kan downloades via www.naturvidenskabsfestival.dk.

Hovedparten af analyserne omhandler forhold i de danske skoler. Dog er der sammenligninger med de foreløbige resultater over forholdene i de norske og svenske skoler for at perspektivere de danske resultater. De endelige analyser af de norske og svenske skoler var ikke færdige ved redaktionens deadline.

I mange af figurene i rapporten optræder "n", der angiver antallet af klasser i en bestemt kategori. Den opmærksomme læser vil bemærke, at summen af n for de forskellige kategorier ikke svarer til antallet af deltagende klasser. Det skyldes, at nogle indberetninger var mangelfulde, eller at resultaterne var urealistiske (f.eks. CO₂-koncentrationer under 350 ppm). Disse urealistiske målinger er ikke medtaget i opgørelserne.

2. Baggrund

Indeklimaet i skoler er vigtigt, da et dårligt indeklima påvirker menneskers sundhed og velbefindende. Der er mange faktorer, der spiller ind, når indeklimaet i et lokale skal bedømmes -herunder temperatur, træk, fugt, luftkvalitet samt lyd- og belysningsniveau. Dårligt indeklima kan medføre forskellige gener som f.eks. lugtgener, hovedpine, irritation i øjne, næse og hals, manglende koncentrationsevne og andre symptomer.

I et klasselokale er der mange forskellige forureningskilder, der kan påvirke luftkvaliteten. Forureningskilderne kan være personer, støv, elektronisk udstyr, møbler, bøger og andre materialer. Disse kilder afgiver alle forskellige synlige og usynlige stoffer og partikler, der kan påvirke os, når koncentrationen af dem bliver for høj. Ventilation er en vigtig parameter for at holde forureningsniveauet nede. Nogle af de nævnte kilder (herunder personer) afgiver også varme, som ligeledes skal kontrolleres med f.eks. ventilation, så temperaturen i lokalet ikke bliver for høj.

En af forureningsparametrene indendøre er CO₂, der hovedsageligt afgives fra elever og lærere, når de ånder ud. CO₂-koncentrationen i et lokale er et udtryk for, hvor godt et lokale er ventileret i forhold til hvor mange personer, der er i et lokale. Jo mere udeluft der tilføres, jo lavere vil CO₂-koncentrationen være for et givet antal personer.

CO₂ måles i enheden ppm (parts per million), hvilket angiver, hvor mange CO₂-molekyler der er blandt én million molekyler i luften. Udendørs er luftens CO₂-koncentration omkring 385 ppm, mens den indenfor typisk er højere. Her er koncentrationen ofte i intervallet fra 500 til 2500 ppm, men koncentrationen kan i enkelte tilfælde komme helt op på 5000 ppm. I et klasselokale bør CO₂-koncentrationen ikke overstige 1000 ppm, hvis indeluften skal opleves som god af de fleste mennesker. CO₂ er i sig selv ikke skadeligt ved de koncentrationer, vi normalt oplever inden døre, men undersøgelser viser, at en stigende CO₂-koncentration, dvs. mangelfuld ventilation, får indlæringssevnen hos mennesker til at falde. Flere detaljer om CO₂ ses i lærervejledningen (se bilag 1).

Temperaturen i et lokale har stor betydning for, om en person føler sig veltilpas. Ofte vil indetemperaturen stige i løbet af en lektion. Dette skyldes, at mennesker og elektriske apparater, som computere og belysning afgiver varme. Derudover varmer solens stråler også lokalet op, og om vinteren bidrager varmeapparater til at holde en komfortabel indetemperatur. Om sommeren bør indetemperaturen ligge omkring 23-26°C, og om vinteren omkring 20-24°C. I efterårsperioden, hvor temperaturen typisk varierer meget, bør temperaturen ligge i intervallet 20-26°C.

Den største kilde til skimmelsvampesporer i udeluften er naturen selv. *Cladosporium* og *Alternaria* sporer dannes især på visne blade og varierer derfor med årstiden. Disse to svampeslægter kaldes udesvampe. Om foråret, hvor de fleste visne blade er blevet nedbrudt, er der ikke ret mange *Cladosporium* og *Alternaria* sporer i luften (i gennemsnit 30 sporer/m³). Antallet af sporer i udeluften stiger i løbet af sommeren og toppe i august med 800 sporer/m³ i gennemsnit. Vejret spiller en stor rolle for, hvor mange *Cladosporium* og *Alternaria* sporer der frigives på én gang. På vindstille og solrige dage i sensommeren kan der frigives op til 8000 sporer/m³. *Penicillium* og *Aspergillus* sporer findes også i udeluft, men niveauet er meget lavere (i gennemsnit 20 sporer/m³), og tallet varierer kun lidt med

årstiden. Forholdet i antal sporer mellem [*Cladosporium* og *Alternaria*]/[*Penicillium* og *Aspergillus*] er ca. 80/3 i gennemsnit i udeluft.

Antallet af sporer i indeluften varierer ikke så meget som udenfor. I gennemsnit kan man måle mellem 300 og 500 sporer/m³ afhængig af, hvor mange forskellige forureningskilder der er i nærheden af lokalet. Også forholdet i antal sporer mellem [*Cladosporium* og *Alternaria*]/[*Penicillium* og *Aspergillus*] er noget anderledes end i udeluft. Indendørs er forholdet 7/3, hvilket betyder, at der er mange flere *Penicillium* og *Aspergillus* sporer i luften, og disse to svampeslægter kaldes for indesvampe. Kilden til *Cladosporium* og *Alternaria* sporerne i indeluft er udeluften, mens kilderne til *Penicillium* og *Aspergillus* sporerne som regel findes indendørs. Den største kilde er mugne madvarer såsom appelsiner/citroner, brød og løg. Derfor kan man måle op til 1000 sporer/m³ i private hjem, hvor der opbevares og laves mad dagligt. Mange af de *Penicillium* og *Aspergillus* sporer, man kan måle i klasselokaler, stammer sikkert fra elevernes egne hjem og er slæbt med i skole på tøj, bøger og lignende. Det er meget normalt, og der er ikke ret meget, man kan gøre ved det. En anden kilde til *Penicillium* og *Aspergillus* sporer i indeluften er støv i lokalet. Sporerne er gode til at klæbe til støv, og jo længere støvet ligger jo flere sporer indeholder det. Sporerne frigives til luften igen, når der er bevægelse i lokalet og jo mere aktivitet, jo mere hvirvles støvet op og jo flere sporer i luften.

Meget få mennesker er allergiske overfor skimmelsvampesporer sammenlignet med, hvor mange der er allergiske overfor pollen, fødevarer eller kæledyr. Svampesporer i sig selv er ikke skadelige ved de koncentrationer, man normalt finder indendørs, og hvis man er sund og rask og ikke er allergisk. Hvis der er mange svampesporer, og lokalet samtidig er lidt fugtigt, kan der godt begynde at lugte af "gammel kælder". Der er derfor mange gode grunde til at åbne vinduerne flere gange om dagen.

3. Forsøgsdesign

Masseeksperiment 2009 bestod af to eksperimentelle dele:

1. Måling af CO₂-indhold i luften samt bestemmelse af indetemperaturen
2. Kortlægning af skimmelsvampe

3.1. Del 1: CO₂- og temperaturmåling

Eleverne målte CO₂-koncentrationen i deres klasselokale i slutningen af en lektion. Målingen foregik ved at trække luft vha. en sprøjte gennem et CO₂ målerør, som dermed viste CO₂-koncentrationen på netop dette tidspunkt. Eleverne havde fået lov til at øve sig et par gange, før den endelige måling blev foretaget, således at de var fortrolige med udstyret og dermed forsøget. Derudover skulle eleverne måle indetemperaturen i lokalet både i starten og i slutningen af lektionen. Eleverne blev bedt om at holde vinduer og døre lukkede i den lektion, hvori målingen foregik. Hele forsøgsvejledningen ses i lærervejledningen (bilag 1).

3.2. Del 2: Kortlægning af skimmelsvampe

Eleverne skulle også kortlægge skimmelsvampesporer i deres klasselokale, hvor det i løbet af lektionen ikke var tilladt at åbne vinduer eller døre. Kortlægningen foregik ved at eksponere to petriskåle med forskellige næringssubstrater for luften i lokalet i 60 minutter. De usynlige skimmelsvampesporer i luften dalede ned på skålene, spirede frem og voksede op til synlige svampekolonier i løbet af syv dage. Derefter blev svampekolonierne talt og identificeret efter udleverede bestemmelsesnøgler. Hele forsøgsvejledningen ses i lærervejledningen (bilag 1).



Elever fra Amager Fælled Skole

Foto: Carsten Andersen

4. Deltagere

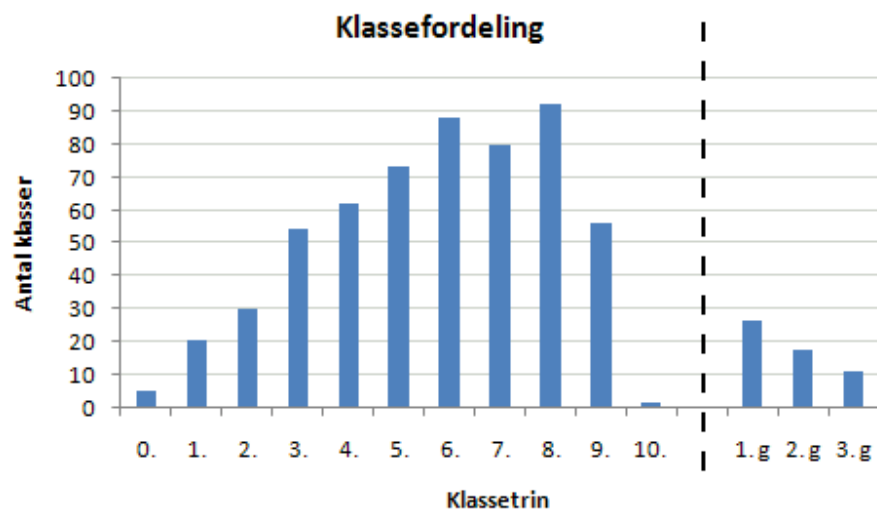
Der er i alt omkring 2500 skoler i Danmark fra 0. klasse til og med det sidste år i ungdomsuddannelserne (HTX, gymnasier m.fl.). Af disse har 796 klasser fordelt på 330 skoler indtastet resultater til Masseeksperiment 2009, hvilket betyder, at undersøgelsen dækker 13 % af landets skoler.

Fordelingen af deltagende skoler og klasser i regionerne ses på Danmarkskortet i Figur 1.



Figur 1. Fordelingen af deltagende skoler og klasser i regionerne

Fordelingen af deltagende klasser på klassetrin er vist i Figur 2.



Figur 2. Fordelingen af klassetrin for de 615 deltagende klasser der havde angivet klassetrin

Der er flest deltagende klasser fra grundskolen, men de gymnasiale uddannelser er også godt repræsenteret. Det ses, at der er flest 6. og 8. Klasser, der har indtastet måleresultater, og at der kun er én 10. klasse, der har deltaget.

5. Resultater

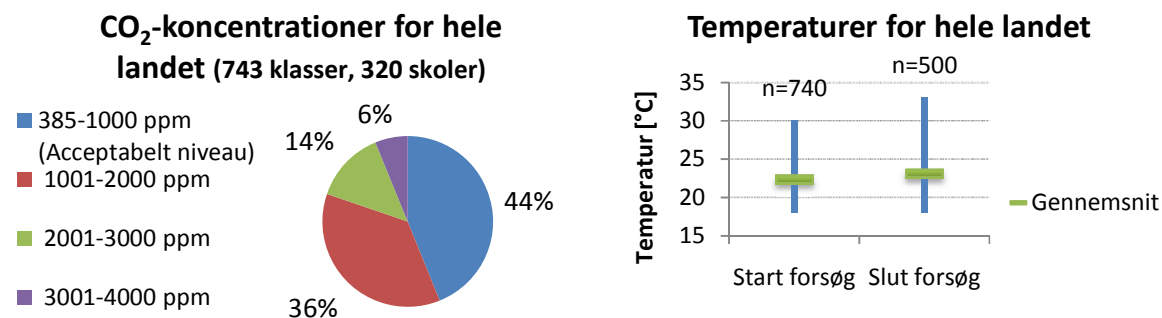
Målingerne blev udført i perioden 14. september til 2. oktober 2009. I denne periode var udetemperaturen høj i forhold til årstiden, da der mange dage blev målt en udetemperatur, som var over 20°C (kilde: DMI). En højere udetemperatur medfører sædvanligvis, at der oftere bliver åbnet for vinduerne. I mange af klasselokalerne i denne undersøgelse var der således bedre ventilation end om vinteren, hvor det ofte er for koldt til at åbne for vinduerne i timerne. De følgende resultater er således ikke "worst case", idet tilsvarende undersøgelser udført om vinteren sandsynligvis ville give højere koncentrationer af CO₂, mens resultaterne for skimmelsvampene sandsynligvis ville være lavere på grund af færre skimmelsvampesporer udendørs.

5.1. Del 1: CO₂- og temperaturmåling

I denne del vises resultaterne fra CO₂- og temperaturmålingerne. Der er mange faktorer, der spiller ind, når det drejer sig om CO₂-koncentration og temperatur i et lokale, f.eks. antallet af personer, personernes størrelse og aktivitetsniveau, lokalets volumen og luftskiftet (udelufttilførslen divideret med lokalets volumen).

Grænsen for, hvornår CO₂-koncentrationen er acceptabel, er sat til 1000 ppm som Arbejdstilsynet anbefaler. Temperaturen bør ligge indenfor intervallet 20-26°C, da målingerne er foretaget om efteråret, hvor udetemperaturen kan variere meget.

I de følgende figurer vises CO₂-koncentrationerne og temperaturerne afhængig af en række forskellige parametre. I Figur 3 er vist fordelingen af CO₂-målingerne i hele Danmark. Desuden viser figuren gennemsnittet af de målte temperaturer samt de laveste og højeste temperaturer, der er målt hhv. i starten og slutningen af den lektion, hvor forsøget blev udført.

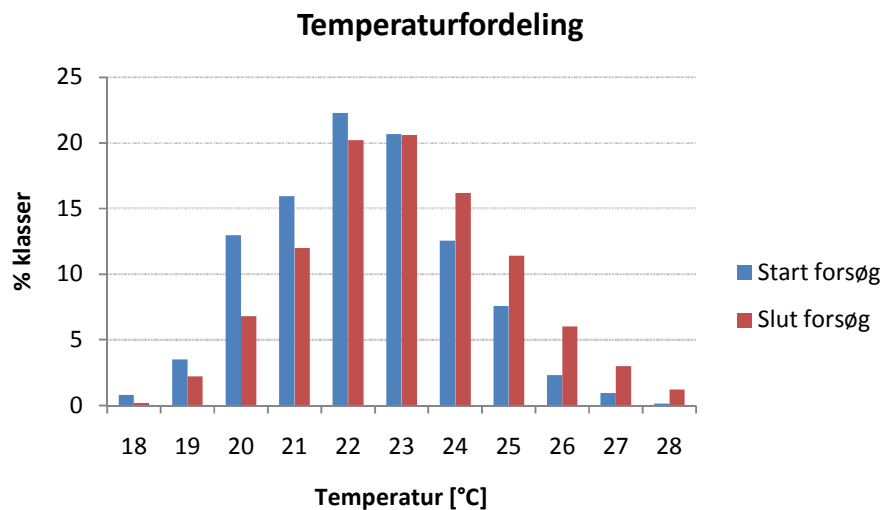


Figur 3. CO₂-koncentration for hele landet for 743 deltagende klasser (til venstre) samt minimum-, maksimum- og gennemsnitstemperaturer for hele landet for hhv. 740 og 500 deltagende klasser (til højre)

Som det ses af CO₂-koncentrationerne i Figur 3, har kun 44 % målt en CO₂-koncentration lavere end det maksimale acceptable niveau. Resten ligger over denne grænse og nogle klasser har målt helt op til 4000 ppm, som var den maksimale koncentration, målerøret kunne registrere.

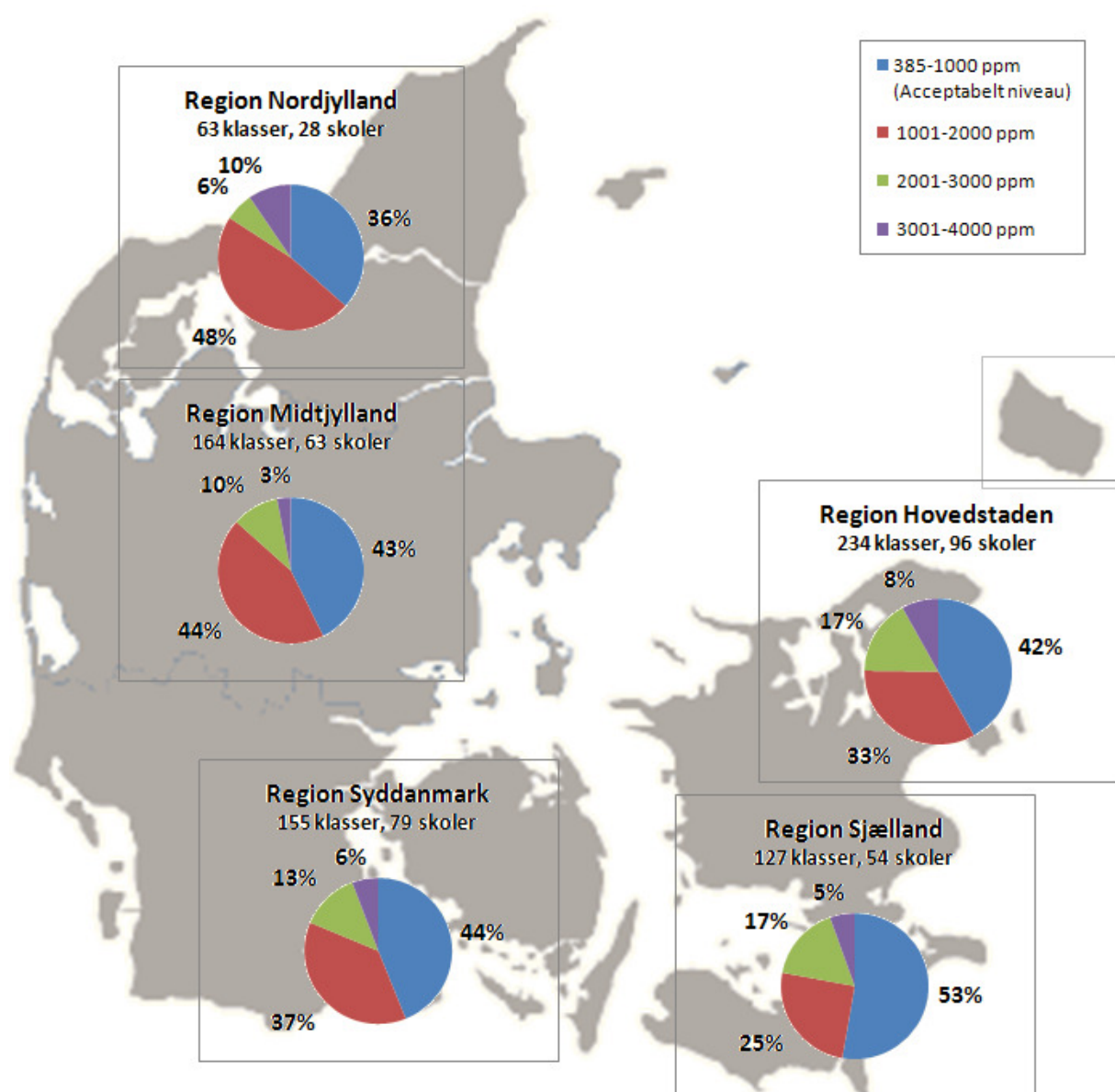
I Figur 3 ses det desuden at gennemsnitstemperaturen i starten af forsøget er 22,3°C og i slutningen af forsøget er den 23,1°C, hvilket betyder at temperaturen stiger i løbet af lektionen.

Figur 4 viser fordelingen af de målte temperaturer. De blå søjler viser temperaturen i starten af lektionen, og de røde søjler viser temperaturen i slutningen af lektionen. Den observerede stigning er ved første øjekast beskeden, men hvis temperaturstigningen fortsætter resten af dagen, vil der i nogle tilfælde opnås for høje temperaturer. I nærværende undersøgelse udførte 65 % af klasserne målingerne om formiddagen, mens de resterende 35 % udførte målingerne efter frokost.



Figur 4. Fordelingen af start og slut temperaturer for hhv. 740 og 500 deltagende klasser

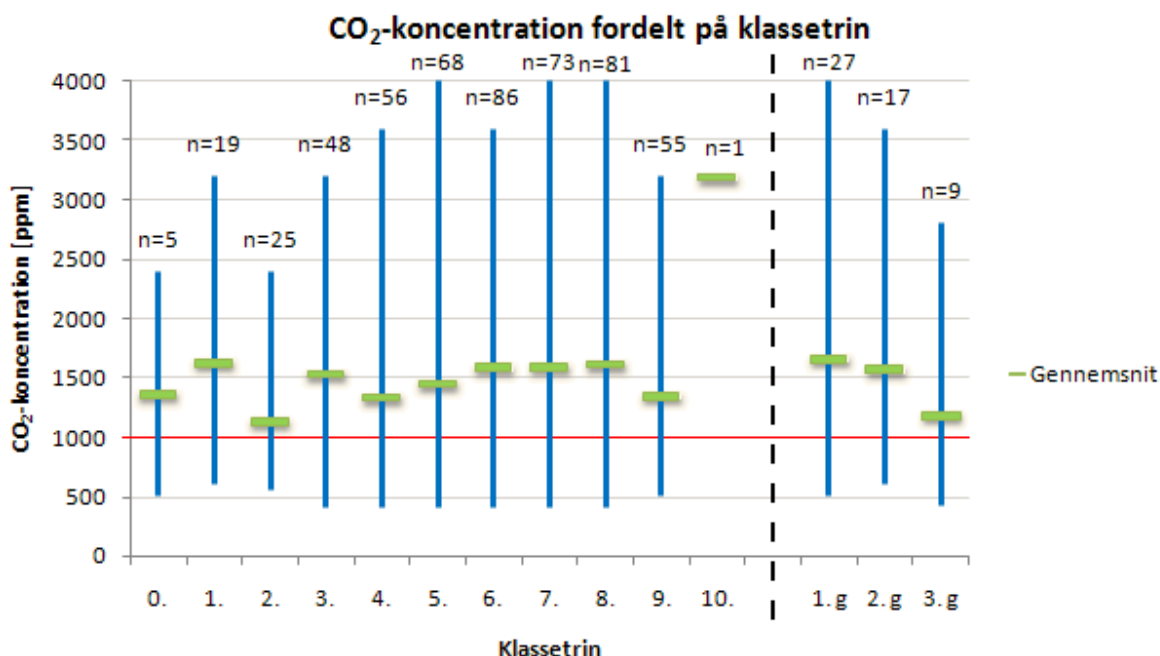
Figuren viser, at langt hovedparten af temperaturmålingerne, ca. 94 %, lå i det acceptable område.



Figur 5. CO₂-koncentrationer i regionerne

I Figur 5 er vist fordelingen af CO₂-koncentration i de fem regioner. Værst ser det ud i Region Nordjylland, hvor kun 36 % af de deltagende klasser havde en acceptabel CO₂-koncentration. I Region Sjælland ser situationen lidt bedre ud, idet over halvdelen af klasserne har målt en CO₂-koncentration lavere end 1000 ppm. Der er flest deltagende skoler og klasser i Region Hovedstaden og færrest i Region Nordjylland.

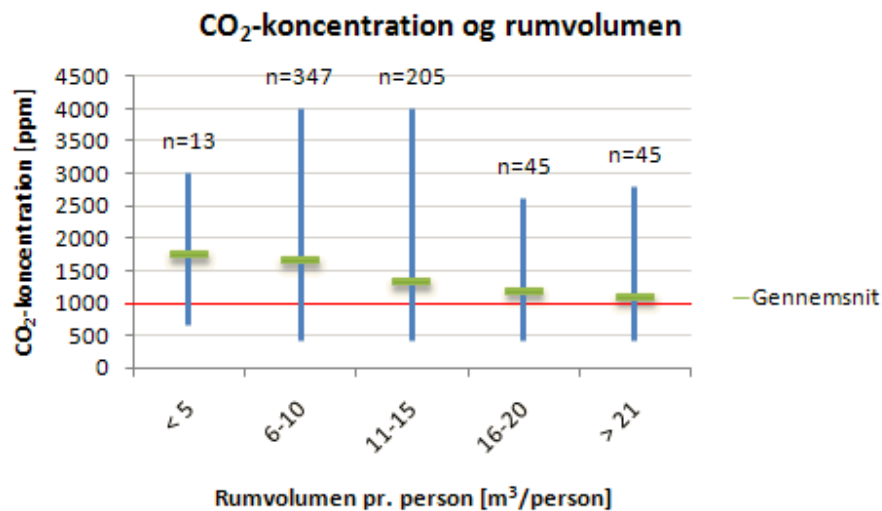
I Figur 6 vises de laveste og højeste CO₂-koncentrationer, der er målt på hvert klassetrin. Ydermere ses gennemsnittene af de målte CO₂-koncentrationer for hvert klassetrin. n angiver det samlede antal af deltagende klasser på hvert klassetrin.



Figur 6. CO₂-koncentration fordelt på klassetrin for 570 deltagende klasser (minimum, maksimum og gennemsnit). n angiver antallet af de deltagende klasser på hvert klassetrin

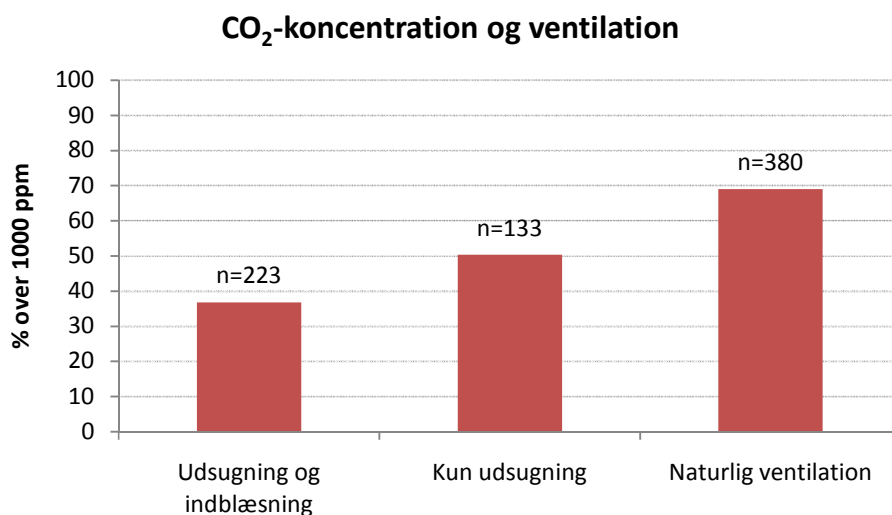
Ud fra figuren ses det, at gennemsnittene af de målte CO₂-koncentrationer ligger over 1000 ppm for alle klassetrin. Gennemsnittene ligger generelt set mellem 1100 og 1700 ppm, når der ses bort fra 10. klasse, hvor der kun er én deltagende klasse. Jo ældre og dermed større eleverne er, jo mere CO₂ afgiver de. Dette vil umiddelbart medføre, at gennemsnittet af CO₂ målingerne vil være højest i de ældre klasser. Aktivitetsniveauet spiller imidlertid også en rolle for, hvor meget CO₂ eleverne afgiver, og dette vil ofte være højere i de yngre klasser, hvor eleverne leger og bevæger sig mere end i de ældre klasser. Dette kan være årsag til, at der ikke er nogen umiddelbar forskel på gennemsnittene for klasserne i grundskolen og de gymnasiale klasser.

Figur 7 viser CO₂-koncentrationen som funktion af rumvolumen pr. person.



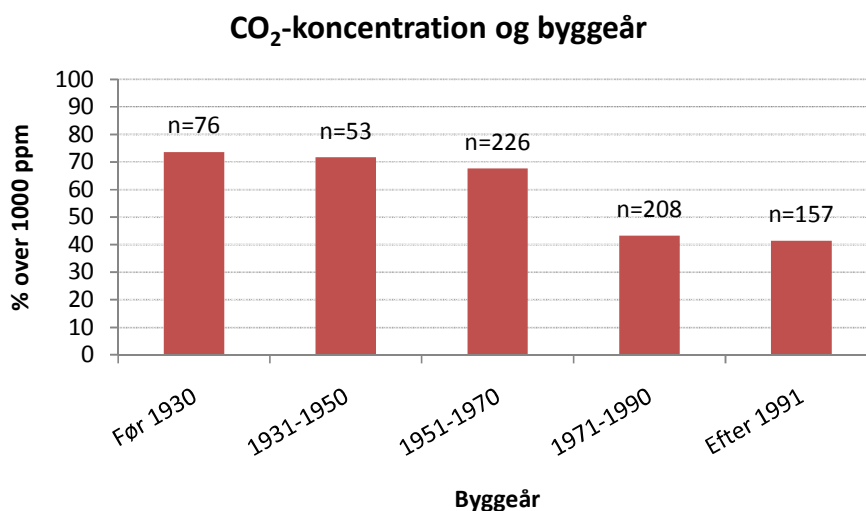
Figur 7. CO₂-koncentration fordelt på rumvolumen pr. person for 655 deltagende klasser (minimum, maksimum og gennemsnit). n angiver antallet af de deltagende klasser

Gennemsnittene af de målte CO₂-koncentrationer er i alle tilfældene over det maksimale acceptable niveau på 1000 ppm. Jo større lokalet er i forhold til antallet af personer, desto lavere er gennemsnittet af CO₂-målingerne. Dette er helt som forventet. Da CO₂ afgivet fra eleverne blandes med den omkringliggende luft i lokalet, betyder et større rumvolumen pr. person, at koncentrationen stiger langsommere.



Figur 8. Procentfordelingen af klasser med CO₂-koncentration over 1000 ppm fordelt på ventilationstype for 736 deltagende klasser. n angiver antallet af de deltagende klasser

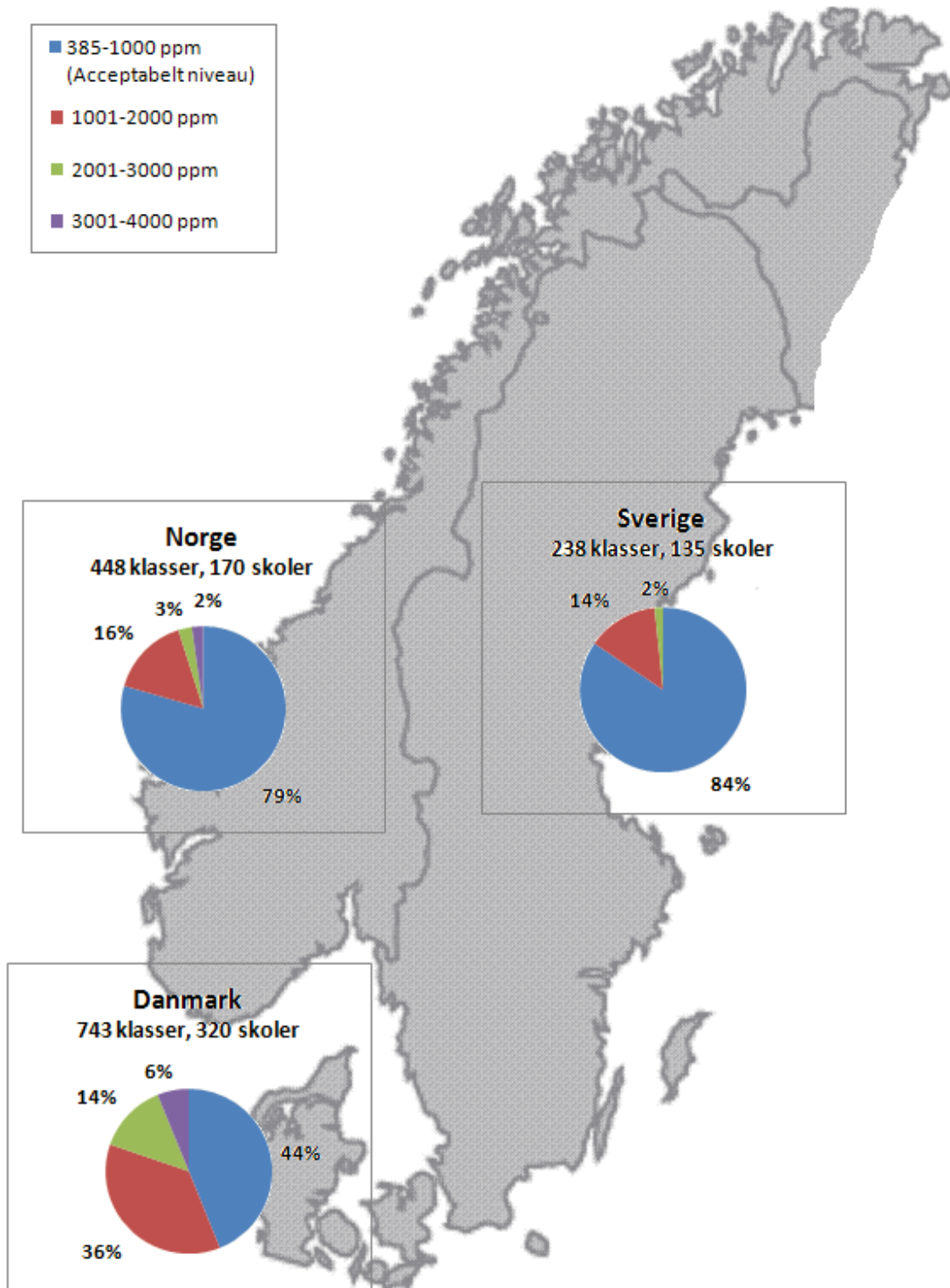
Figur 8 viser hvor stor procentdel af klasserne, der har en CO₂-koncentration på over 1000 ppm afhængig af, hvilken slags ventilation der er. Det ses, at CO₂-koncentrationen i klasselokalerne med mekanisk ventilation (enten udsugning eller både udsugning og indblæsning) er lavere, end når der er naturlig ventilation. Gennemsnittet af CO₂ målingerne for de forskellige typer af ventilation er 1076 ppm for udsugning og indblæsning, 1364 ppm for kun udsugning og 1736 ppm for naturlig ventilation. CO₂-koncentrationerne er altså højest i de naturligt ventilerede lokaler, som 52 % af de deltagende klasser har.



Figur 9. Procentfordelingen af klasser med CO₂-koncentration over 1000 ppm fordelt på byggeår for 720 deltagende klasser. n angiver antallet af de deltagende klasser

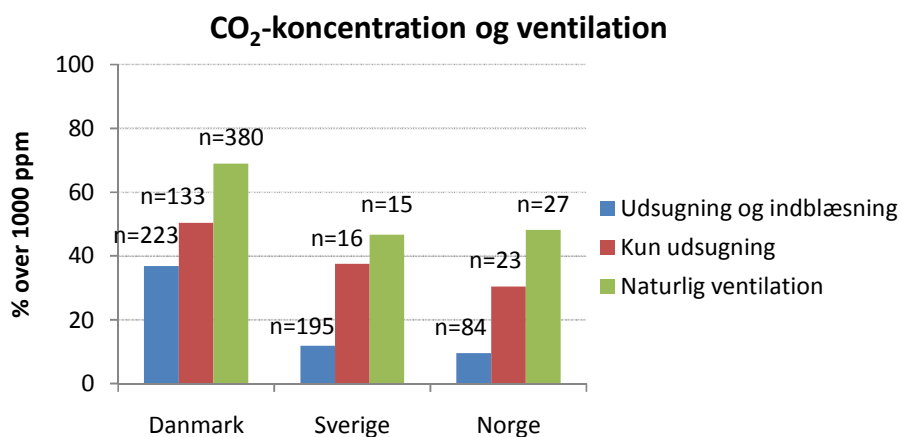
Figur 9 viser procentdelen af de klasser, der har målt en CO₂-koncentration over 1000 ppm i forhold til, hvornår skolen er bygget. Det ses, at der i de nyere skoler er en mindre procentdel, der har målt en CO₂-koncentration over 1000 ppm. Umiddelbart skulle man tro, at de ældste bygninger ville have lavere CO₂-koncentrationer, da gamle bygninger ofte er ret utætte, dvs. at mere luft udskiftes naturligt gennem bygningens facade. Årsagen til at det dog viser sig at være bedre i de nyere skoler kan være, at de nyere bygninger oftere er udstyret med et mekanisk ventilationsanlæg (enten udsugning eller både indblæsning og udsugning) end ældre bygninger. Dette viser sig ved, at kun omkring 20 % af klasserne med et byggeår før 1950 har mekanisk ventilation, hvorimod 75 % af klasserne bygget senere end 1990 har mekanisk ventilation.

På samme måde som i Danmark, er der i Sverige og Norge ligeledes målt CO₂-koncentrationer i lignende masseeksperimenter. Sammenligning af de nordiske landes resultater ses i de følgende figurer.



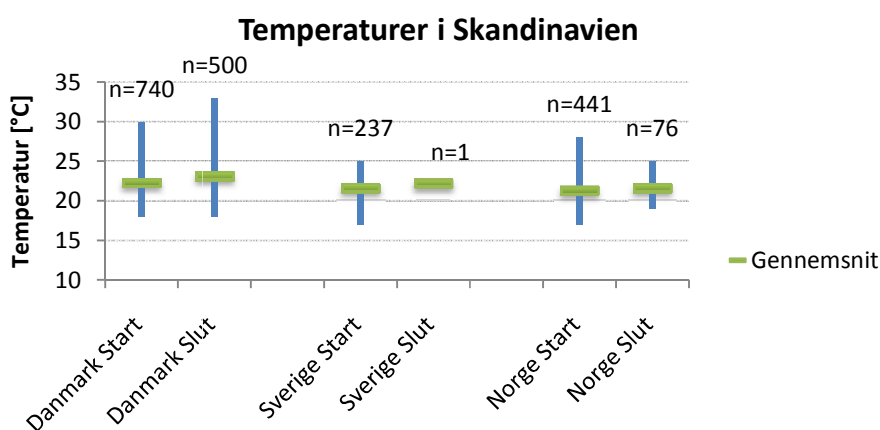
Figur 10. CO₂-koncentrationer i Skandinavien

Figur 10 viser, at CO₂-koncentrationerne i de danske skoler er væsentlig højere end i de norske og svenske skoler, hvilket sandsynligvis er som følge af mindre ventilationen i de danske skoler. Procentdelen af de deltagende klasser med en acceptabel CO₂-koncentration er omkring 80 % i både Sverige og Norge, mens den er 44 % i Danmark.



Figur 11. Procentfordelingen af klasser med CO₂-koncentration over 1000 ppm i Skandinavien (foreløbige tal fra Sverige og Norge)

Figur 11 viser, hvor stor en andel af de deltagende klasser i de forskellige lande, der har målt en CO₂-koncentration på over 1000 ppm alt efter, hvilken type ventilation de har. Tendensen er den samme i de tre lande: De naturligt ventilerede skoler er ofte utilstrækkeligt ventilerede, mens det ser lidt bedre ud for de mekanisk ventilerede skoler. Gennemsnittet af CO₂-målingerne for landene er 1477 ppm for Danmark, 887 ppm for Sverige og 941 ppm for Norge.

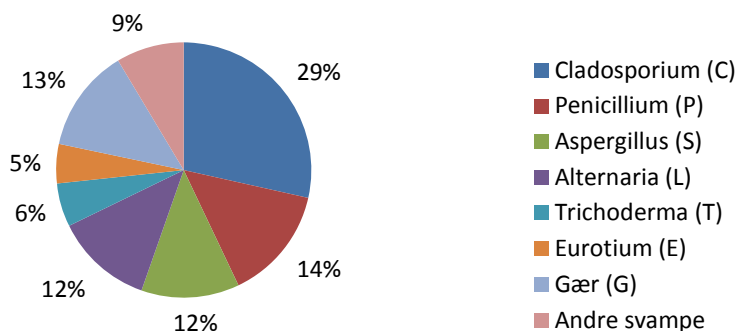


Figur 12. Temperaturer (minimum, maksimum og gennemsnit) i Skandinavien

Figur 12 viser temperaturstigningerne i den lektion hvori eksperimentet blev udført. For alle tre lande var den gennemsnitlige stigning beskeden, men det ses af figuren at det største variationsområde blev målt i danske skoler.

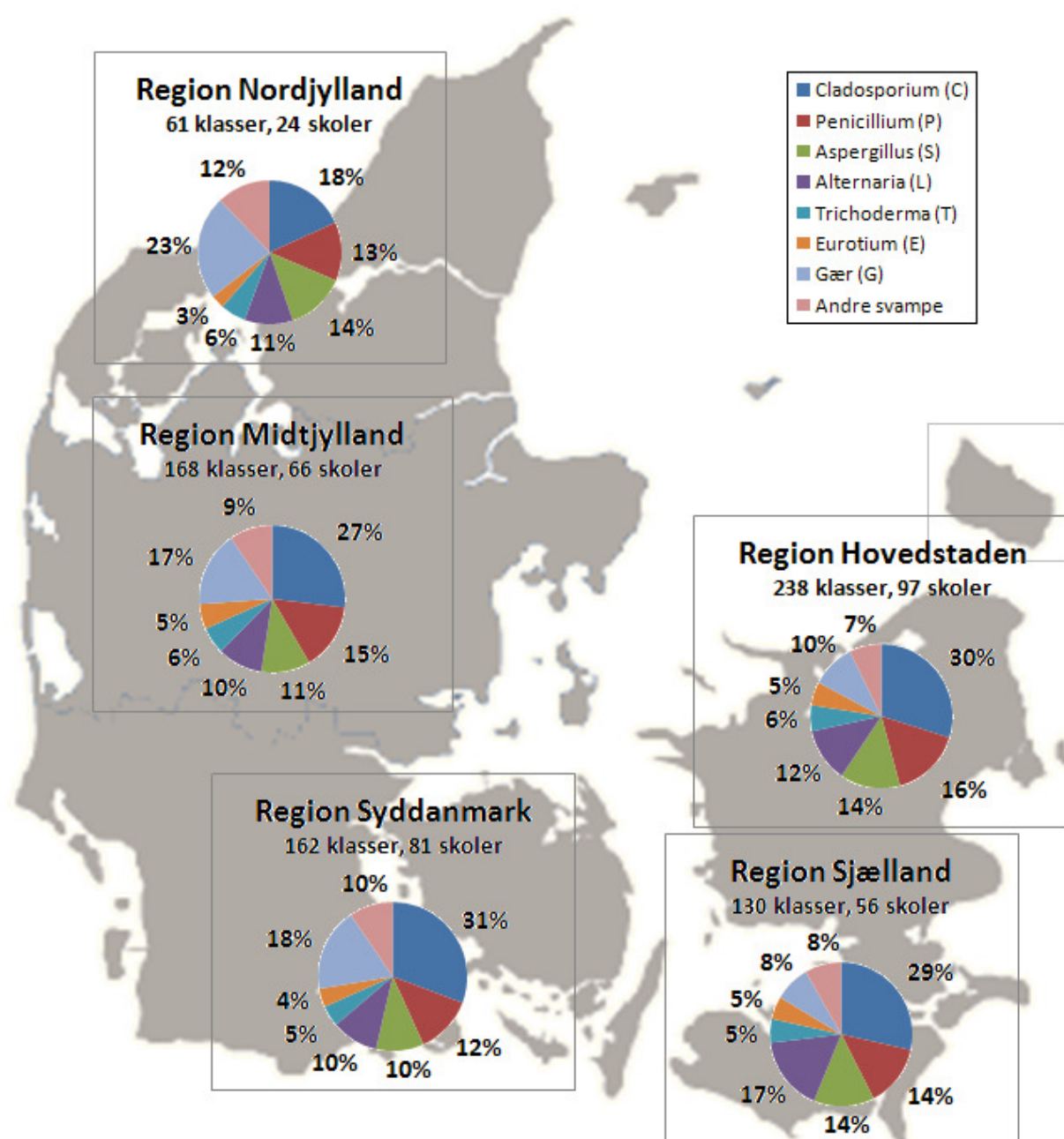
5.2. Del 2: Kortlægning af skimmelsvampe

Fordelingen af svampetyper for hele landet
759 klasser, 324 skoler

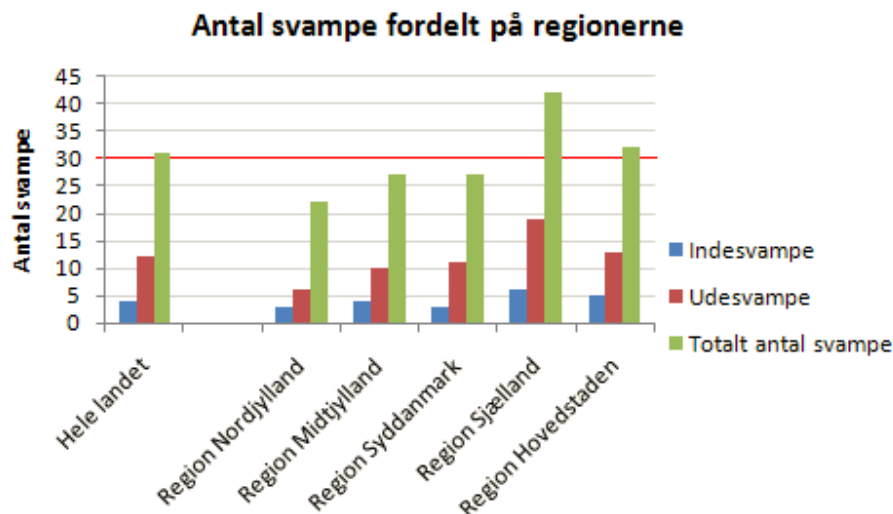


Figur 13. Fordelingen af forskellige svampeslægter for hele landet aflæst på DG18

Figur 13 og 14 viser de forskellige svampeslægter fordelt på landsplan, og delt ud på regioner. På landsplan er fordelingen indendørs mellem udesvampe [*Cladosporium* og *Alternaria*] og indesvampe [*Penicillium* og *Aspergillus*] ca. 5/3, hvilket er lidt skævt sammenlignet med andre undersøgelser, hvor fordelingen er 7/3. Dette skyldes, at *Aspergillus* er meget sværere at identificere end de andre svampeslægter, og at eleverne nok har talt for mange andre kolonier som værende *Aspergillus*. Som det ses på Figur 14, adskiller Region Nordjylland sig fra resten af regionerne ved at have færre *Cladosporium* sporer og flere gærsvampe i forhold til landsgennemsnittet. Dette er der ikke nogen god forklaring på.

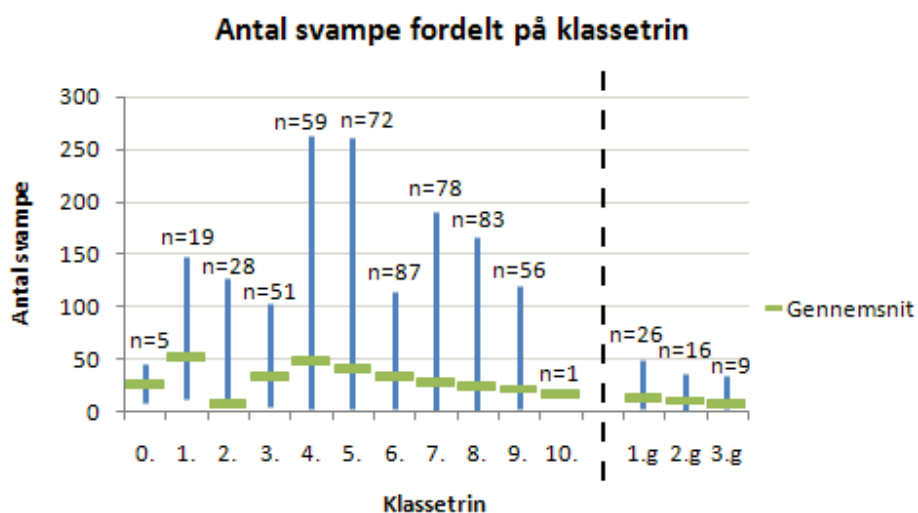


Figur 14. Fordelingen af forskellige svampetyper i regionerne aflæst på DG18



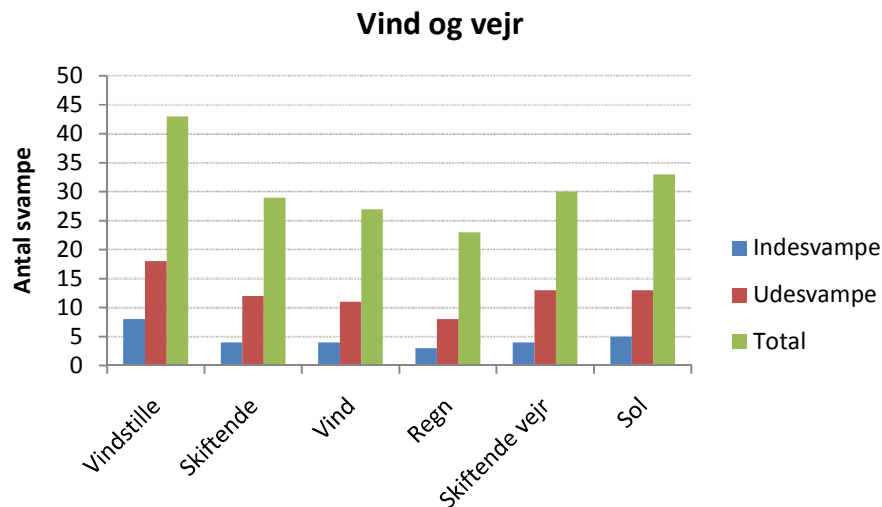
Figur 15. Gennemsnit af totalt antal svampe aflæst på DG18, delt ud på regionerne

På Figur 15 ses gennemsnittene af det totale svampetal (alle talte svampekolonier), udesvampene (*Cladosporium* og *Alternaria*) og indesvampene (kun *Penicillium*) for de forskellige regioner. *Aspergillus* er ikke lagt sammen med *Penicillium*, selvom det er en indesvamp, da tallene nok er misvisende. Som det kan ses, er der i gennemsnit talt flere svampesporer på Sjælland, end der er i Jylland og på Fyn.



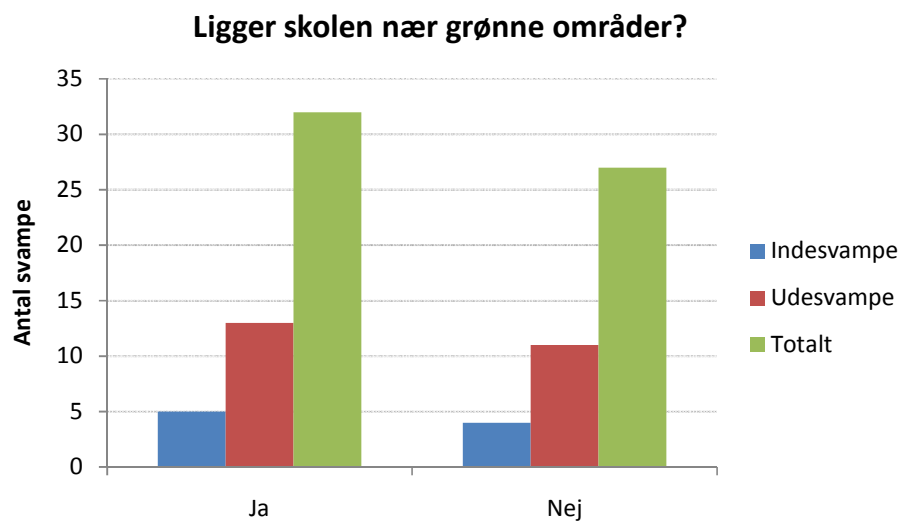
Figur 16. Totalt antal svampe på DG18 fordelt på klassetrin (minimum, maksimum og gennemsnit), n angiver antallet af klasser, der har indtastet data for hvert klassetrin

Figur 16 viser det totale antal og gennemsnittet af svampekolonier fordelt på de enkelte klassetrin. Som det kan ses, ligger det totale antal svampekolonier på en petriskål for nogle klasser langt over de 30 kolonier, som er en tommelfingerregel for, hvad der må antages at være normalt. På landsplan er der ca. 34 % af klasserne, der har talt mere end 30 svampekolonier på deres DG18 petriskåle.



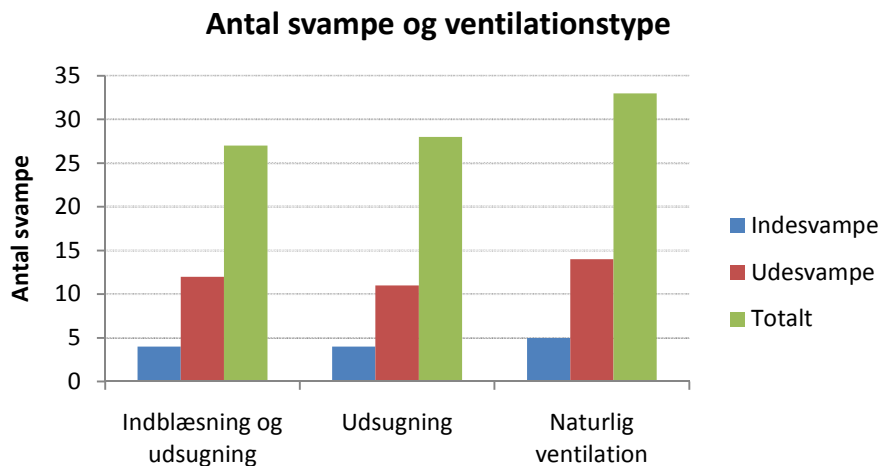
Figur 17: Gennemsnit af antal svampe på DG18 afhængig af vejret

Figur 17 viser gennemsnittene for det totale antal svampe, udesvampe og indesvampe i klasselokalerne under forskellige vejr- og vindforhold udendørs. Her kan man se, at der frigives mange flere svampesporer fra udesvampene, når det er vindstille og solskin, som så suges ind i klasselokalerne. Man kan også se, at der er færre udesvampesporer i indeluften, når det har regnet. Man kan sige, at regnen har vasket luften, så den er lidt renere, når den suges ind i klasselokalerne.



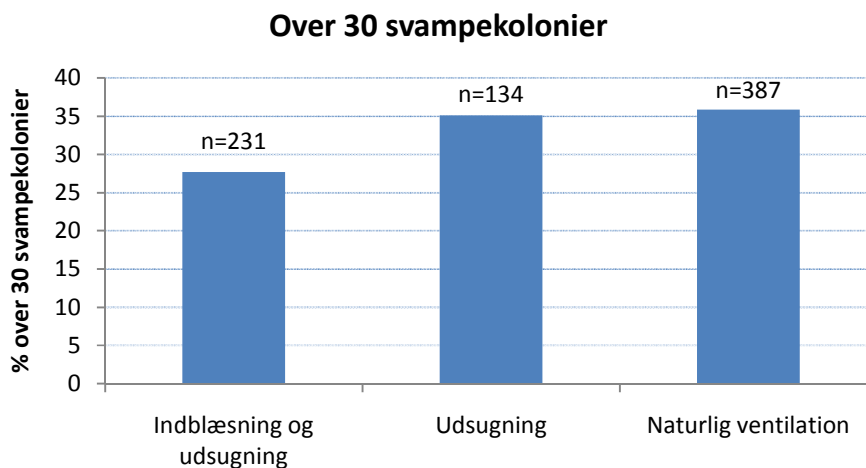
Figur 18: Gennemsnit af antal svampe på DG18 afhængig af om skolen ligger nær grønne områder

I figur 18 ses en sammenligning af skolernes beliggenhed i forhold til grønne områder. Man kan se, at der i gennemsnit er flere svampesporer indendørs (både totalt og udesvampe) i de grønne områder end i dem, der ikke har træer og buske i nærheden. Til gengæld er antallet af indesvampe næsten det samme, uanset om man går i en skole i grønne områder eller på stenbroen.



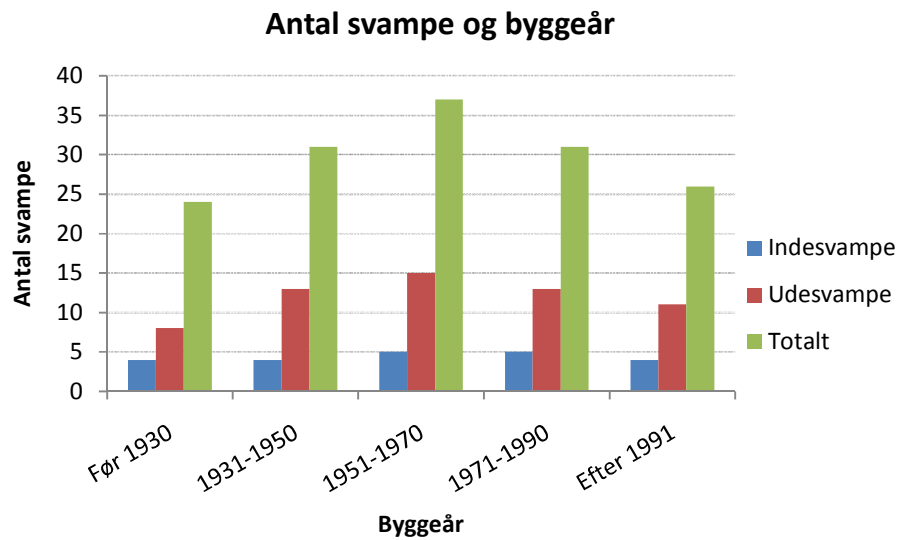
Figur 19. Gennemsnit af antal svampe på DG18 afhængig af ventilationstype

Figur 19 viser gennemsnittene af det totale antal svampe, udesvampe og indesvampe fordelt på de forskellige ventilationstyper. Som det ses, er gennemsnittene af det totale svampetal og udesvampene højere for klasser, der ikke har nogen form for mekanisk ventilation, mens gennemsnittene er ens for de to typer af mekanisk ventilation. Også her kan man se, at antallet af indesvampe er næsten det samme for alle tre ventilationstyper.



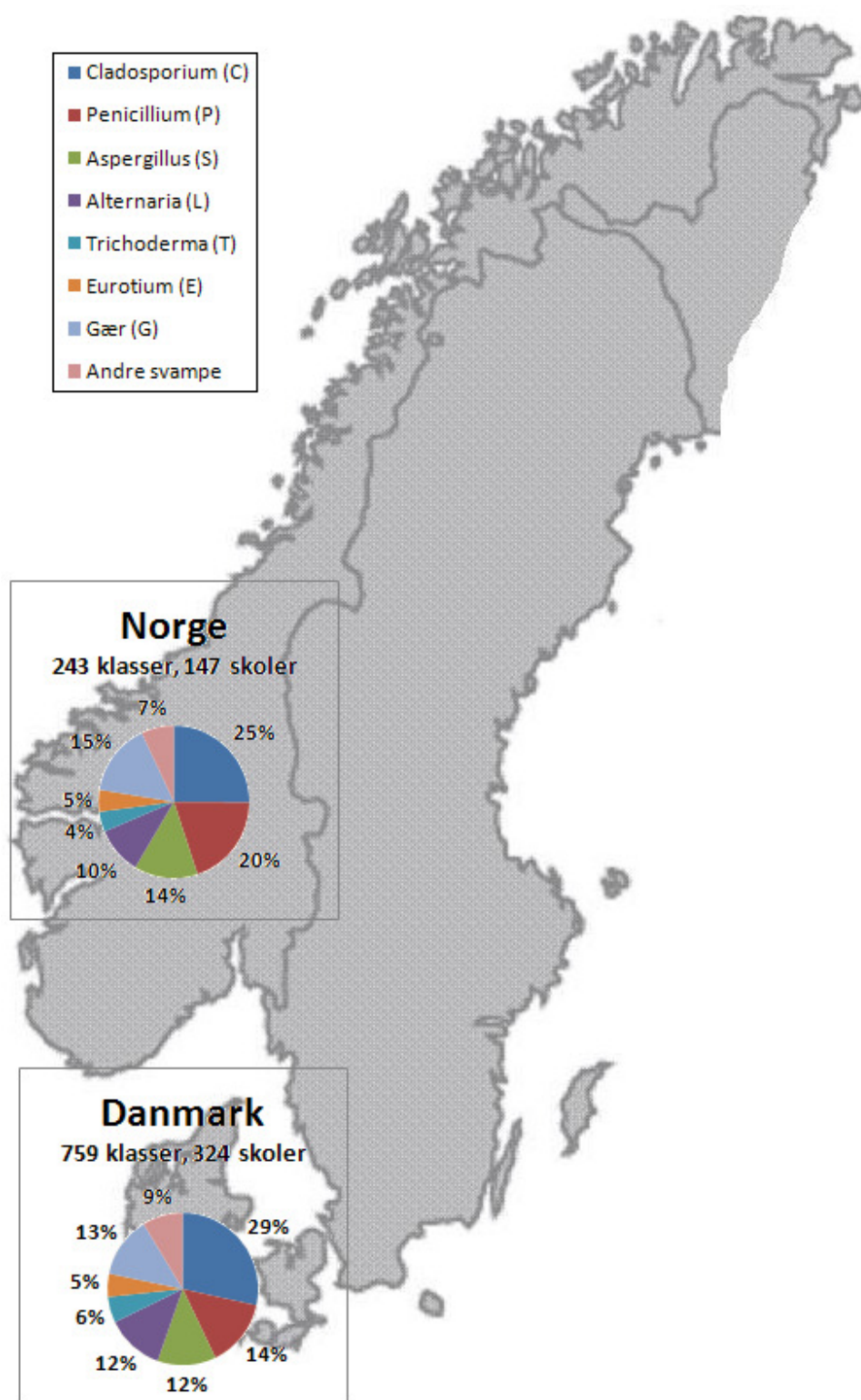
Figur 20. Procentfordelingen af klasser med et totalt antal svampekolonier på over 30 på DG18 fordelt på ventilationstype for i alt 752 deltagende klasser. n angiver antallet af de deltagende klasser for hver ventilationstype

I Figur 20 kan man se, hvor mange klasser der har over 30 svampekolonier på deres petriskåle sammenlignet med, hvilken type ventilationsanlæg de har. Der er i gennemsnit 33 sporer pr. petriskål i klasser med naturlig ventilation, 28 sporer pr. petriskål i klasser med kun udsugning og 27 pr. petriskål i klasser med både indblæsning og udsugning. Dette betyder, at eleverne i klasselokaler med naturlig ventilation generelt har flest svampesporer i indeluften.

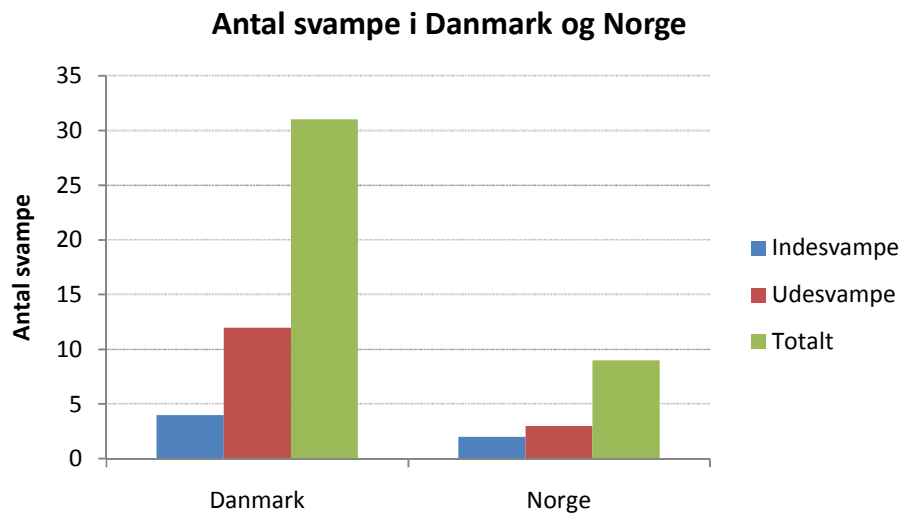


Figur 21. Gennemsnit af antal svampe på DG18 i forhold til byggeår

Skolens alder spiller en mindre rolle for hvor mange svampesporer, der er i indeluften. Der er dog færre svampesporer i gennemsnit på skoler, der er bygget før 1930 og flest på dem, der er bygget i perioden 1951-1970.



Figur 22. Fordelingen af svampe i Danmark og Norge



Figur 23. Gennemsnit af antal svampe på DG18 i Danmark og Norge

Sammenligner man tallene fra Norge med de danske i Figur 22, kan man se, at fordelingen mellem svampeslægter er nogenlunde den samme i Danmark og Norge. Men når man ser på Figur 23, kan man se, at der er 3-4 gange flere svampesporer i danske klasselokaler end i de norske. Dette tyder på, at ventilationen spiller en stor rolle for antallet af svampesporer, der findes indendørs, idet vi ved at lokalerne i de norske skoler generelt er bedre ventileret end danske.

6. Diskussion og konklusion (sammenfatning)

I årets Masseeksperiment har ca. 20.000 børn målt vigtige parametre i forhold til indeklimaet i deres klasselokale. Efterfølgende har rigtig mange klasser diskuteret betydningen af et godt indeklima, og hvad man kan gøre for at sikre, at indeklimaet er godt. Næsten 80 % af de 1000 deltagende klasser indtastede deres resultater, hvilket vidner om en meget stor interesse for området.

Et slående resultat af undersøgelsen er, at CO₂-koncentrationerne i de danske skoler og gymnasier i mere end halvdelen af tilfældene er over det maksimale acceptable niveau på 1000 ppm. Årsagen er for lidt ventilation i forhold til antallet af personer i klasselokalerne. I forhold til vores nabolande Sverige og Norge, der har meget lavere niveauer af CO₂, ser det ud til at Danmark halter betydeligt bagefter med hensyn til ventilation af vores skoler. En væsentlig årsag til forskellen er, at der i langt højere grad benyttes mekanisk ventilation i Sverige og Norge.

Kan man gøre noget for at forbedre indeklimaet? Ja, ventilationen kan forbedres på forskellig vis. I nærværende rapport fremstår naturlig ventilation som den store "synder", idet de målte CO₂-koncentrationer er højest i klasser med denne type ventilation. Her er det dog vigtigt at fastslå, at begrebet "naturlig ventilation" dækker over mange forskellige ting. Minimumsløsningen, hvor der ikke er gjort noget som helst for at sikre et acceptabelt luftskifte, men hvor luften blot siver gennem tilfældige utætheder, duer ikke i skoler. Men hvis der i stedet er tale om automatisk styrede vinduer eller ventilationsåbninger med forvarmning af luften, kan det i nogle tilfælde være en attraktiv løsning. Den optimale løsning for den enkelte skole identificeres bedst efter en konkret vurdering af fagfolk.

Nu der imidlertid ingen grund til at læne sig tilbage og afvente at nye tekniske installationer sørger for et godt indeklima. Man kan naturligvis selv gøre noget. CO₂-koncentrationen stiger i løbet af en lektion, og det er derfor vigtigt at åbne vinduerne i klasselokalet regelmæssigt. Eleverne bør derudover forlade klasselokalet i frikvartererne, så CO₂-koncentrationen kan nedbringes før starten af næste lektion.

Masseeksperiment 2009 viser også, at niveauet af svampesporer ligger højere end de 30 svampekolonier pr. petriskål, der er sat som en tommelfingerregel for den anvendte analysemetode. For omkring 30 klasser er niveauet endda over 100. Dette kan skyldes flere ting. For eksempel at ventilationen i lokalerne ikke er tilstrækkelig til fjerne de svampesporer, som slæbes ind med elever og lærere, eller at der er en kilde til svampesporer i klasselokalet. Desuden er der flere svampesporer i luften om efteråret, hvor målingerne blev gennemført, og dette kan være en medvirkende årsag til de generelt høje svampesporetal.

Svampesporetallet kan holdes på et rimeligt niveau i et klasselokale, det vil sige under 30, hvis ventilationen er god. Dette ses tydeligt ved at sammenligne de danske tal med de norske. I Norge ligger niveauet på et rimeligt lege. Ved at filtrere udeluften forhindrer man svampesporer i overhovedet at komme ind i klasselokalerne, hvilket har en stor effekt på det totale antal sporer. Dernæst kan en bedre rengøring af klasselokalerne medvirke til at indslæbte svampesporer fjernes sammen med støv og nullermænd. Sidst men ikke mindst bør man altid kontrollere, om et lokale har fugt- eller vandskader, der kan give anledning til skimmelvækst og dermed et øget antal svampesporer. Især *Penicillium* sporer kan forekomme i høje tal i vandskadede bygninger.

Mange vil sikkert frygte for de energimæssige konsekvenser af øget ventilation. Her skal man dog være opmærksom på, at energiforbruget til øget ventilation med passende brug af varmegenvinding, moderne energibesparende ventilatorer og samtidig energirenovring af u hensigtsmæssige facadeelementer ofte vil være beskedent – i nogle tilfælde vil der endda kunne opnås en energibesparelse.